

LA LUZ CENITAL EN LA ARQUITECTURA DEPORTIVA DE LATITUDES INTERMEDIAS. ESTUDIO DE CASOS DE LAS OLIMPIADAS DE 1992 EN LAS CIUDADES DE BARCELONA Y GRANOLLERS (CATALUÑA).

Maria- Leandra González-Matterson¹, Joan-Lluís Zamora-Mestre² y John-Martin Evans³.

RESUMEN

Este trabajo presenta estudios sobre la optimización de las condiciones de iluminación natural, en el caso particular de la luz cenital, en ejemplos de arquitectura deportiva de **latitudes intermedias** (Barcelona y Granollers, 41° 38" N). Las conclusiones muestran la necesidad de evaluar diferentes aspectos en el estudio de las condiciones de iluminación, teniendo en cuenta además de la cantidad de luz o valores de iluminancias, la distribución y el balance de luminancias en el campo visual.

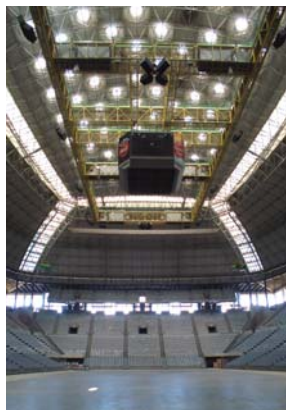
PALABRAS CLAVE: iluminación natural, latitudes intermedias, luz cenital, campo visual, arquitectura deportiva, Juegos Olímpicos Barcelona 1992

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo, es analizar el funcionamiento de los sistemas de **luz cenital** para proponer mejoras, potenciando los beneficios de la **luz natural** en relación con las diferentes necesidades de los usuarios, mejorando el **confort** y la **calidad interior** y tendiendo al **uso racional de la energía**.

CASOS DE ESTUDIO

El estudio de las condiciones de iluminación se ha realizado en seis palacios y/o pabellones deportivos con sistemas de iluminación cenital de diferentes tipos, construidos en la Ciudad de Barcelona y cercanías, con motivo de los Juegos Olímpicos de 1992. De estos edificios se han seleccionado aquellos cuyo sistema de iluminación natural fuera del tipo cenital.



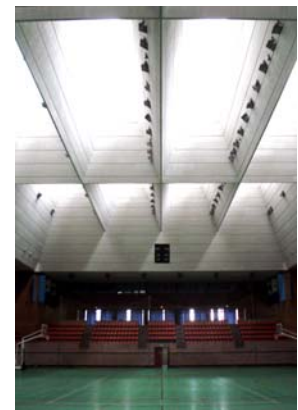
Palacio Sant Jordi.



Palacio de Deportes de Granollers.



Pabellón de la España Industrial







Pabellón del Valle de Hebrón

¹ Arq. alumna en fase de tesis doctoral, proyecto de tesis: “Reconsideración de los sistemas de iluminación cenital en arquitectura deportiva. Propuestas de mejora a partir del análisis de los pabellones de las olimpiadas Barcelona 1992”. Programa de doctorado “Àmbits de recerca en l’energia i el medi ambient a l’arquitectura”. Escola Tècnica Superior d’Arquitectura de Barcelona - ETSAB. Universitat Politècnica de Catalunya – UPC. e-mail: leamatterson@gmail.com

² Prof. Dr. Arquitecto y Codirector de la Tesis Doctoral. Departament de Construccions Arquitectòniques I. Escola Tècnica Superior d’Arquitectura del Vallès– ETSAV. Universitat Politècnica de Catalunya - UPC. e-mail: Joan.LLuis.Zamora@upc.edu

³ Prof. Dr. Arquitecto y Codirector de la Tesis Doctoral. Centro de Investigación Hábitat y Energía- CIHE. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo- FADU. Universidad de Buenos Aires – UBA. e-mail: evansjmartin@gmail.com

A continuación, se resume la información obtenida en cuatro de estos palacios y/o pabellones con iluminación natural cenital, actualmente en funcionamiento y ubicados en las ciudades de Barcelona y Granollers:

Datos del edificio	Palacio Sant Jordi	Palacio de Granollers	Pabellón La España Industrial	Pabellón del Valle de Hebrón
Ubicación	Barcelona, Latitud 41° 38' N	Granollers 41° 37' N	Barcelona, Latitud 41° 38' N	Barcelona, Latitud 41° 38' N
Autores (arqs.)	Arata Isozaki	Pep Bonet	Ramón Artigues y Ramón Sanabria	Jordi Garcés y Enric Sòria
Fecha de construcción	1990	1991	1991	1992
M2 pista	4.500 m2	4.400 m2		1.632 m2
Competiciones en los Juegos Olímpicos de 1992	gimnasia deportiva y rítmica	balonmano	halterofilia	voley ball, pelota vasca y frontón
Funcionamiento en la actualidad	diversos eventos deportivos y en mayor medida espectáculos y conciertos	competiciones balonmano, jockey sobre patines.	diversos deportes	competiciones voley ball
Sistemas de iluminación natural				
Características	cubierta con claraboyas semi-esféricas en damero y lucernario perimetral	sistema lineal de cinco claraboyas sobre la pista.	claraboya central.	iluminación natural lateral (acceso y fachada oeste) y cuatro lucernarios lineales
Tipología del sistema cenital	 cúpula y domo	 claraboya	 claraboya	 lucernario
Orientación del elemento cenital	Todas las orientaciones (bóveda celeste y sol directo)	Este -Oeste	Este -Oeste (sol directo, tarde y mañana)	Norte (bóveda celeste)

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la evaluación de las condiciones de iluminación natural y artificial, se realizaron: mediciones con luxómetro, relevamientos fotográficos y geométricos, evaluaciones subjetivas del campo visual y simulaciones con programas. Asimismo, se han evaluado las diferentes necesidades de confort visual de tres tipos de usuarios bien diferenciados en el uso de estos edificios:

- 1) **deportistas**,
- 2) **espectadores** o público, y
- 3) **televisión**, como un nuevo espectador (requerimientos para retransmisión televisivas).

Condiciones de cielo

- Para la realización de las mediciones con luxómetro se seleccionaron días con cielo nublado (overcast) y días con cielo despejado o claro.
- Debido a la variabilidad de la luz natural en períodos cortos de tiempo (Atif, Love et al. 1997), para algunos ejemplos se realizaron mediciones cada un minuto (simultánea) con dos luxómetros, uno ubicado en el exterior (libre de obstáculos) y otro en el interior del espacio analizado. Se calibraron y se compararon las mediciones obtenidas con ambos luxómetros (Evans, J. M., Bogatto, M. et al. 1998).

Iluminancias

- Se realizaron mediciones para iluminación natural y artificial. Para ello se han confeccionado diferentes grillas ortogonales para obtener puntos de medición en planta de acuerdo a la geometría de los elementos de iluminación natural y artificial (Kralj, González Matterson, et al. 2001).
- Las mediciones con luxómetro en el interior se realizaron a +1.00 m de altura en pista, en gradas y en zona de retransmisiones de televisión y prensa.
- Se tomaron mediciones en posición horizontal (0°) y vertical del luxómetro (90°).
- Para algunos ejemplos se han obtenido valores de Factor de Luz Diurna (FLD %).

Luminancias

- Se han evaluado subjetivamente los niveles de luminancias y se identificaron problemas de contraste excesivo, reflejos y problemas de deslumbramiento.
- Se analizaron las fotografías del relevamiento fotográfico con el programa Desktop Radiance (1998-2001), para obtener un mapa de luminancias y detectar puntos de deslumbramiento o potenciales problemas por exceso de contraste y reflejos en el campo visual (Li, Lau et al. 2004).

Reflectancia de materiales

- Se han evaluado subjetivamente los colores y las terminaciones de los materiales de arquitectura interior, y se les han asignado un valor estimado de reflectancia (%).

Evaluación subjetiva del campo visual

- Se han completado planillas con información del espacio analizado, con valoración general del ambiente luminoso, nivel de luminosidad, reflejos y elementos de discomfort.

Relevamiento fotográfico

- Se realizó un relevamiento fotográfico con cámara digital, tomando en cuenta los diferentes campos visuales de los usuarios.
- Se empleó un programa de composición de foto panorámica para obtener imágenes del campo visual.

Funcionamiento térmico del edificio

- Se realizaron entrevistas con los encargados y jefes de las áreas técnicas y de mantenimiento de los edificios. Se obtuvieron datos del funcionamiento de los sistemas de acondicionamiento térmico, alumbrado artificial y de la operación de los mismos.

Relevamiento geométrico

- Se recopiló información gráfica como plantas, secciones y alzados de los edificios analizados. Este relevamiento permite organizar las grillas de medición y la construcción de maquetas gráficas para posteriormente la utilización de programas de simulación.

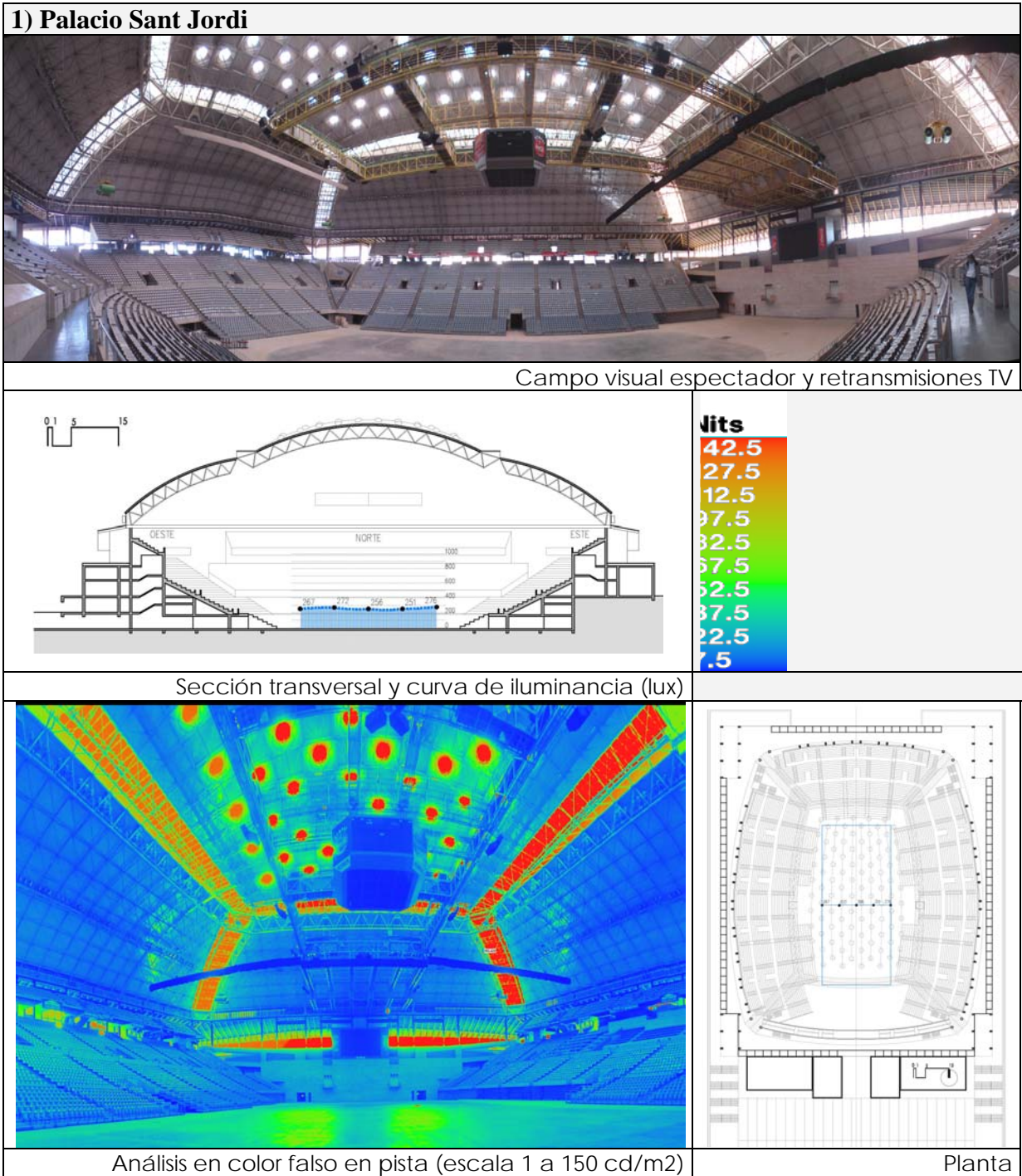
Instrumental utilizado

- Luxómetro digital: ISO-TECH 1332. Rango de mediciones = 0.01 lux hasta 200.000 lux. Respuesta espectral = CIE Photopic (CIE curva de respuesta del ojo humano).
- Luxómetro digital: Martín Marten. Wilh. Lambrecht GMBH. D-3400 Göttingen. Rango de mediciones = 0.1 lux hasta 200.000 lux, 1 a 1.999.000 cd/m² (ϵ 1/10=20°) Respuesta espectral = V (λ) curva de respuesta del ojo humano.

- Cámara fotográfica digital: 6.0 megapíxeles Sony Cyber-Shot DSC-W50, con adaptador para lente Wide x0.7.

PRIMEROS AVANCES Y RESULTADOS OBTENIDOS

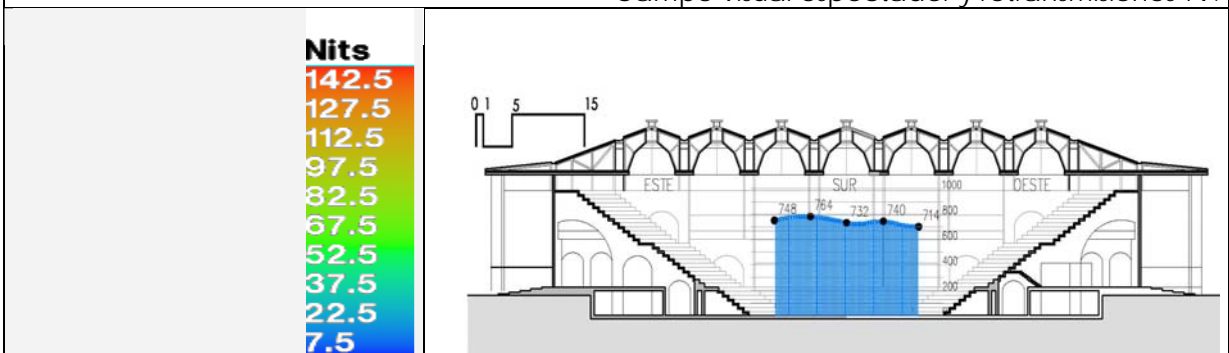
Se exponen los avances obtenidos para los cuatros edificios y se comparan los valores obtenidos in situ de iluminancia horizontal para un día de invierno con cielo despejado (Fontoynot, M. 1999). Asimismo, se presentan secciones características de los edificios con curvas de iluminancia, plantas con ubicación de elementos cenitales, fotografías, evaluaciones subjetivas de confort visual y el análisis de luminancias en Color Falso (escala 1 a 150 cd/m2).



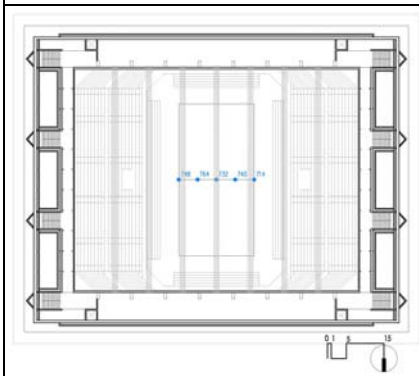
Palacio de Deportes de Granollers:



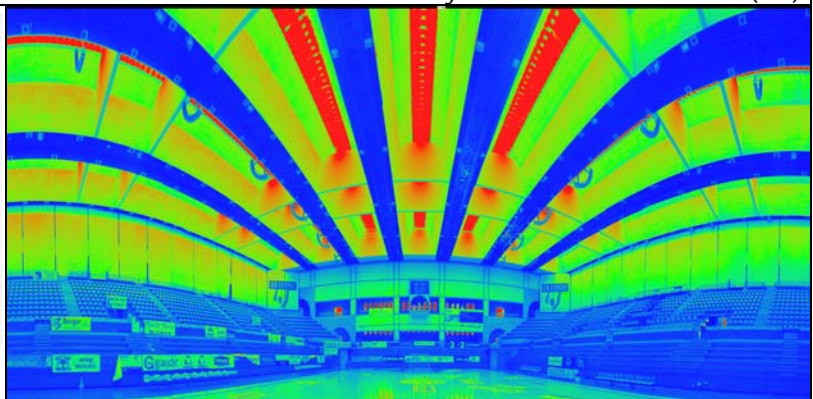
Campo visual espectador y retransmisiones TV.



Sección transversal y curva de iluminancia (lux)



Planta

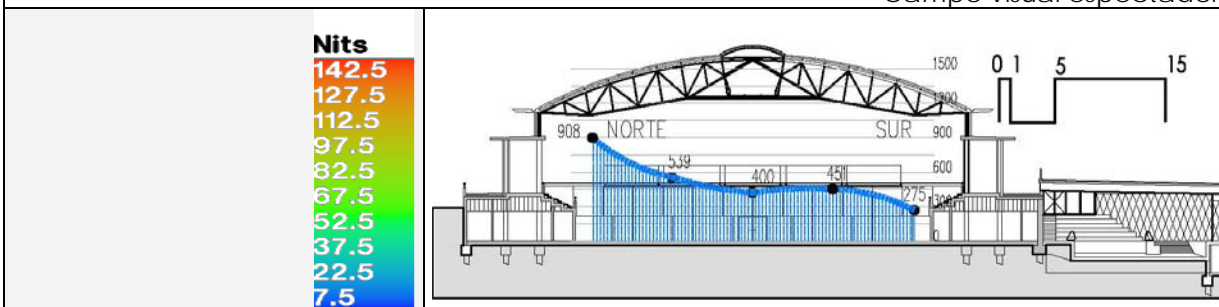


Análisis en color falso (escala 1 a 150 cd/m²)

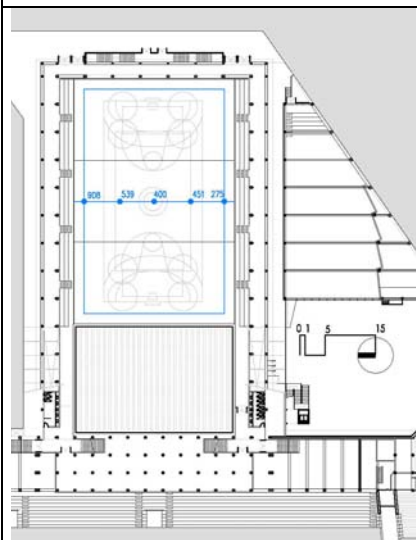
2) Pabellón de La España Industrial



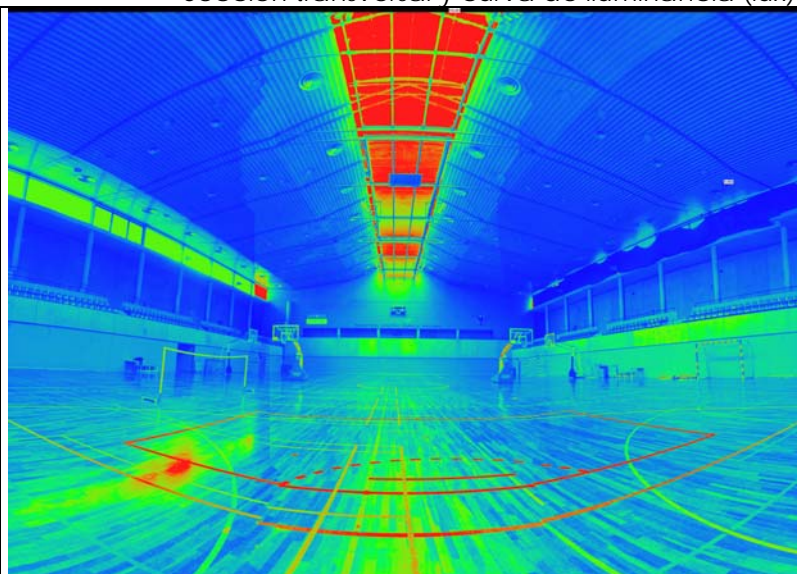
Campo visual espectador



Sección transversal y curva de iluminancia (lux)



Planta



Análisis en color falso (escala 1 a 150 cd/m2)

Condiciones de medición de iluminancias en los ejemplos analizados:

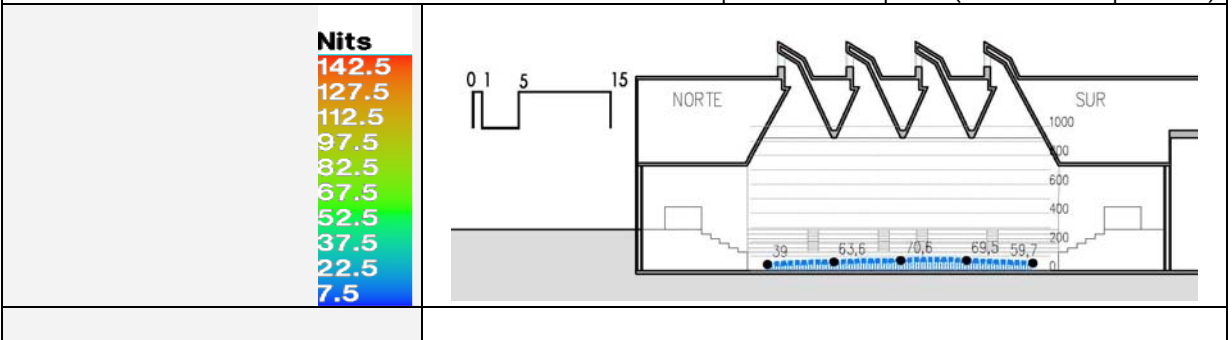
Edificio	Palacio Sant Jordi	Palacio Granollers	Pabellón La España Industrial	Pabellón Valle de Hebrón
Resultados Iluminación natural				
Iluminancias horizontales				
Condiciones de cielo	Despejado	Despejado (leves nubes altas)	Despejado	Despejado
Fecha de la medición	17-01 (Invierno)	23-01 (Invierno)	05-02 (Invierno)	12-01 (Invierno)
Hora de la medición	12,00 a 13,00 hs.	13,00 a 14,00 hs	12,00 a 13,00 hs.	13,00 a 14,00 hs

Valor de referencia (exterior) (lux)	57.500	37.000 a 52.000	52.000 a 66.500	55.600 a 56.000
Nivel Máximo (lux)	281	777	1.329	70,6
Nivel Medio (lux)	236	679	578	49
Nivel Mínimo (lux)	149	550	203	20

3) Pabellón del Valle de Hebrón.



Campo visual en pista (usuario= deportista)



Sección transversal y curva de iluminancia (lux)



Planta

COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación se exponen los resultados de la evaluación objetiva y subjetiva en comparación con las recomendaciones para confort visual en arquitectura deportiva (Generalitat de Catalunya, 1993)

Edificio	Valores recomendados	Palacio Sant Jordi	Palacio Granollers	Pabellón La España Industrial	Pabellón Valle de Hebrón
1-SUPERFICIE DE LUCERNARIOS					
Superficie mínima de lucernario	10% de la sup. del espacio deportivo	√	√	√	X
2-COLORES Y MATERIALES DE REVESTIMIENTO INTERIOR					
Superficies de revestimiento interior (evaluación subjetiva de valores de reflectancia de materiales)	<ul style="list-style-type: none"> Favorecer el nivel lumínico interior: Pavimentos, Cubiertas y Paramentos (colores claros) Evitar reflejos molestos (sup. difusoras) 	√ √ √ √	√	√	X
3-CANTIDAD DE LUZ					
a-Iluminancias horizontales (valores de luz natural)					
Nivel Medio (lux) Entrenamiento	> 200	236 √	679 √	578 √	49 X
Nivel Medio (lux) Competición	> 400	236 X	679 √	578 √	49 X
b-Iluminancias verticales					
*Se garantizan con el cumplimiento de los valores mínimos de iluminancia horizontal					
4. UNIFORMIDAD					
Uniformidad (Iluminancias máx. y mín.)	≤ 1: 1,50 (≥ 0,666)	0,53 X	0,70 √	0,15 X	0,28 X
5. DESLUMBRAMIENTO					
Diseño elementos de iluminación natural/ artificial	• Fuentes de luz apantalladas	SI	SI	NO	SI
	• Fuentes de luz con altura conveniente	SI	SI	SI	SI
	• Controlar el haz de luz.	SI	SI	SI	SI
	• Agrupar las fuentes de alta intensidad lumínica.	SI	SI	SI	SI

CONCLUSIONES

1) Niveles de iluminancia:

- La iluminación cenital, en los casos analizados, provee suficiente iluminación general para actividades de entrenamiento de los deportistas y circulación general (espectadores, deportistas).
- Para el caso de retransmisiones televisivas, (televisión) y actividades de competición (deportistas), la iluminación natural resulta insuficiente, por lo cual es necesaria la utilización de iluminación artificial.

- La información obtenida de las mediciones en plano horizontal resultan orientativas, pero son insuficientes para evaluar el confort visual de los diferentes usuarios. En este sentido es importante la evaluación de aspectos relacionados con el balance de luminancias, contraste y brillo.
- Los problemas relacionados con el comportamiento térmico de los sistemas cenitales en latitudes intermedias, condiciona las decisiones del diseño de los mismos, como la orientación a Norte (hemisferio Norte), para evitar así el sol directo y los problemas asociados a ganancias térmicas. Esto produce, como en el caso del Pabellón del Valle de Hebrón, niveles de luz insuficiente, por lo cual es necesario el uso de la iluminación artificial. El caso contrario, es el del Pabellón de la España Industrial, donde la entrada de sol directo en la fachada Oeste (ventanas altas) y por el lucernario central, produce deslumbramiento directo en pista y en gradas de espectadores. Esto ocasiona la inutilización permanente de la abertura, por medio de un sistema fijo de oscurecimiento de la ventana.
- Los sistemas cenitales analizados no poseen elementos de regulación, protección solar y/o control del ingreso de la luz. Además, carecen de sistemas de oscurecimiento total. La falta de estos sistemas de control de la luz parcial y total conllevan, en algunos casos, a la anulación permanente de la iluminación cenital por medios ajenos (lonas, pinturas, etc) y el uso permanente de la luz artificial.

2) Niveles de luminancias:

- Para el análisis del campo visual de los diferentes usuarios, resulta necesario la evaluación de las luminancias, su distribución y balance.
- Los contrastes provocados por el bajo nivel de reflexión de los materiales de revestimiento interior y la focalización de la iluminación natural sobre la pista, generan excesivo contraste en el campo visual, llegando a producir deslumbramiento.
- Las aberturas laterales sobre pista generan la principal causa de deslumbramiento directo, ya que el contraste de luminancias es $> 1 : 40$.

3) Confort visual de los diferentes usuarios:

- Los colores de los revestimientos interiores de los espacios deportivos son en su mayoría oscuros, con bajo nivel de reflexión (Coeficiente de reflexión $< 40\%$) y de la gama de colores fríos (celeste, azul, verde). La combinación de bajos niveles de reflexión, la utilización de colores “fríos” y bajos niveles de iluminancia, producen sensación de penumbra, a pesar de que los valores de iluminancia media en plano horizontal sean suficientes para actividades de entrenamiento.

4) HDR Color Falso:

- La herramienta para evaluación de exposiciones fotográficas con Rango Dinámico Ampliado (HDR) constituye una manera económica y sencilla de materializar estudios de confort del ambiente luminoso (Torres, S. 2004).
- El tratamiento de fotografías HDR (HDR Shop, 2001) para visualizarlas en Color Falso, permiten una rápida identificación de problemas de contraste y brillo, que en la valoración subjetiva del observador no es posible cuantificar. La herramienta para evaluación de exposiciones fotográficas con Rango Dinámico Ampliado (HDR) constituye una manera económica y sencilla de materializar estudios de confort del ambiente luminoso.

RECONOCIMIENTOS

Al Arq. Mariá Bordas del Consell Català de l'Esport, a los directores y responsables de las áreas técnicas y de mantenimientos de los edificios analizados, al Prof. Arq. Arcadi de Bobes del Departament de Construccions I - UPC y al Dr. Arq. Santiago Torres.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATIF, M.R., LOVE, J.A. and LITTLEFAIR, P., 1997. Daylighting Monitoring Protocols & Procedures for Buildings. NRCC-41369. CANADA: NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA.
- BAKER, Nick; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, Koen. (Editors). Daylighting in architecture. A European reference book. London. Commission of European Communities. James & James . 1993. (ISBN: 1-873936-21-4)
- DESKTOP RADIANCE © (1998-2001) Version 2.0 Beta 2 Build 33a. Marisnsoft Inc. and Lawrence Berkeley National Laboratory.
- EVANS, J. M., BOGATTO, M., MÁRMORA, M. I., SAN JUAN, G. A. (1998). "Iluminación en maquetas y espacios con iluminación natural. Recomendaciones para su medición". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Volumen 2, N. 2, Salta, Argentina. Volume 2, pp. 37-40.
- EVANS, Martín; DE SCHILLER, Silvia. Diseño bioambiental y arquitectura solar. Serie de Ediciones Previas N° 9. Secretaria de Extensión Universitaria y Bienestar Estudiantil- FADU-UBA. Tercera Edición. Buenos Aires. 1994
- FONTOYNONT, M. (1999) "Daylight performance of buildings". (James & James) for European Commission Directorate General XII for Science, Research and Development. Lyon, France.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (1983). Mitjá, Albert; Girbal, Albert. Estalvi d'energia en instal.lacions esportives. Primera edición Diciembre .
- HDR SHOP © (2001) University of Southern California.
- KRALJ M. E., GONZÁLEZ MATTERSON M. L., EVANS J. M.(2001). Regional variations in daylight strategies: resources, requirements and solutions. The 18th International Conference and Low energy in Architecture. Florianópolis, Brazil, pp.203-207.
- LI, D.H.W., LAU, C.C.S. and LAM, J.C., 2004. Predicting daylight illuminance by computer simulation techniques. Lighting Research & Technology, 36(2), pp. 113-129.
- PATTINI A. (1999) "Procedimiento de análisis para la restauración de la iluminación natural en un edificio de patrimonio cultural en la provincia de Mendoza". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Volumen 3, N. 2, Tucumán, Argentina. Volume 3, pp. 141-144.
- SERRA FLORENSA , R; COCH ROURA, H. (1995) Arquitectura y energía natural. Barcelona. Edicions UPC.
- TORRES, S. (2004) Image based lighting for glare assessment. Third Annual Radiance Workshop -Fribourg 2004.

ABSTRACT

This paper presents studies about optimisation of daylight conditions, in particular top-lit systems, in sport-hall's architecture of intermediate latitudes, Barcelona and Granollers cities. The objective of this work, is to analyse the performance of these top-lit systems for optimisation of advantages of daylight, in relation of different requirements of this building users, and to more comfortable and quality interior environment by rational use of energy.